

CAMBIOS OBSERVADOS EN LOS EXTREMOS CLIMÁTICOS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN EL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO A PARTIR DE DATOS DIARIOS

Jorge Luis VÁZQUEZ AGUIRRE¹, Manola BRUNET^{1,2}, Phil D. JONES¹

¹ *Climate Research Unit, University of East Anglia*

² *Grupo de Investigación del Cambio Climático, Universitat Rovira i Virgili*

j.vazquez-aguirre@uea.ac.uk

RESUMEN

El Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI) ha venido impulsando a escala global el cálculo de índices de cambio climático a partir de datos diarios. El uso sistemático de dichos índices ha permitido mejorar el diagnóstico global de los cambios en extremos de temperatura y precipitación contribuyendo al reporte de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Lo anterior sin embargo, sólo ha marcado el inicio de una estrategia de detección de cambio climático que requiere continuarse en la escala regional. Utilizando las mejores series de tiempo de temperatura y precipitación diaria se calcularon los índices de cambio climático del ETCCDI para la región estatal de Veracruz en el Golfo de México. Los datos diarios fueron sometidos a procedimientos de control de calidad y análisis de homogeneidad. Los resultados muestran evidencia de un aumento de temperatura en años recientes consistente con el aumento de temperatura del planeta; se detecta incremento en la frecuencia de días calurosos y disminución de los días frescos. En la precipitación no se detectan cambios significativos. La evidencia encontrada será utilizada por otras iniciativas de la región orientadas a la implementación de acciones climáticas.

Palabras clave: Extremos climáticos, Detección Cambio Climático, Datos Instrumentales.

ABSTRACT

The Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) has encouraged the global use of a set of climate change indices derived from daily data. The use of such indices has improved the global diagnostics of changes in temperature and precipitation extremes, revealing the picture reported in the last IPCC Assessment Report. This, however, is only the beginning of further developments required on climate change detection at regional scales. Using the best temperature and precipitation daily time-series available in the state of Veracruz, in the Gulf of Mexico, a subset of the ETCCDI indices was calculated for the region. The data were previously quality controlled and an homogeneity test was applied. Results show evidence of a recent increase in the regional temperature as well as a higher frequency of warm days and a lower frequency of cool days. On the contrary, no significant changes in precipitation were detected. The evidence of warming here obtained will support other initiatives aimed to design climate-related actions.

Key words: Climate Extremes, Climate Change Detection, Instrumental Data.

1. INTRODUCCIÓN

El cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) publicado a finales del año 2007 reporta incrementos sustanciales en la evidencia de que el calentamiento del sistema climático es inequívoco (IPCC, 2007). No obstante, dado que el clima cambia en muchas escalas diferentes, además de analizar el registro de temperatura a escala del planeta, resulta conveniente analizar también los cambios del clima en la escala regional, de manera que el conocimiento sobre la variabilidad y el cambio climático pueda incorporarse en el diseño de acciones climáticas regionales y locales. El presente estudio tiene por objeto la evaluación de los cambios en el comportamiento extremo del clima en el estado de Veracruz, ubicado en latitudes cercanas a los trópicos en la costa este de la República Mexicana (Fig. 1).

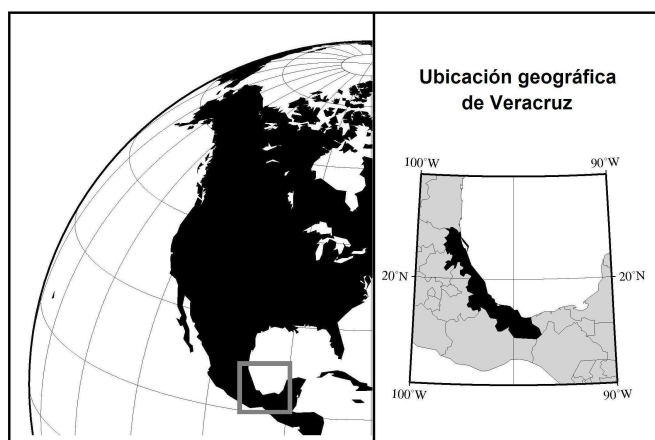


Fig. 1: Ubicación geográfica del estado de Veracruz, México.

El clima del estado de Veracruz está fuertemente caracterizado por el ciclo anual, distinguiéndose claramente una estación seca y fría, referida como invierno (entre noviembre y abril) y una estación lluviosa y cálida, referida como verano (entre mayo y octubre). Durante el invierno las variaciones de temperatura y precipitación son debidas a la advección relacionada con el desplazamiento de los sistemas de latitudes medias hacia los trópicos. Durante el verano se observan las temperaturas más altas y la ocurrencia de aproximadamente el 80% de la lluvia anual. A diferencia del invierno, en que la mayor actividad es de tipo frontal, durante el verano los sistemas dominantes incluyen la migración latitudinal de la zona intertropical de convergencia, la llegada de ondas del este, ciclones tropicales, formaciones convectivas, influencia de la orografía compleja y variaciones en la temperatura de los mares adyacentes. La sequía de medio verano denominada localmente como “canícula” es una característica particular del clima de la región y consiste en un mínimo relativo de lluvia en los meses de julio y agosto.

La variabilidad interanual juega un papel determinante en la configuración del clima de la región. Diversos estudios se han realizado sobre el impacto del fenómeno El Niño, detectando

que cuando este fenómeno ocurre con intensidad muy fuerte causa sequía en la mayor parte del país durante el verano (MAGAÑA *et al.*, 2003), mientras que en el invierno ocasiona un aumento en la frecuencia de frentes fríos (VÁZQUEZ-AGUIRRE, 2000). En contraste con el número de investigaciones realizadas sobre las variaciones interanuales, en lo que respecta a los cambios del clima extremo, son pocos los estudios realizados en la región.

En el año 2003, la Organización Meteorológica Mundial anunció la posibilidad de un incremento en los extremos del tiempo y del clima asociado al calentamiento global (WMO, 2003) e investigaciones recientes sobre detección de cambios en extremos climáticos a escala global (ALEXANDER *et al.*, 2006) y de grandes regiones agrupando los países de Centroamérica (AGUILAR *et al.*, 2005) y Norteamérica (PETERSON *et al.*, 2008) han encontrado evidencia de cambios consistentes con el aumento de la temperatura del planeta: incremento en los eventos de temperaturas altas, disminución de eventos de temperaturas bajas e incremento en la lluvia intensa. No obstante, a fin de detectar en forma específica cómo la señal del cambio climático se manifiesta a escala regional, se realizó el presente estudio del clima extremo Veracruzano con el fin de ofrecer mayor información a las estrategias de adaptación y mitigación.

2. DATOS

La red de observación atmosférica en Veracruz con registros de mayor longitud y amplia cobertura es probablemente la red de estaciones climatológicas convencionales de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Esta red cuenta con información en la mayor parte de sus estaciones durante al menos las últimas cinco décadas, y a pesar que el número de observaciones ha venido disminuyendo constantemente en los últimos años, ésta sigue siendo la única fuente de información con registros históricos para estudios del clima a escala regional o local en el área de estudio. Los datos diarios de precipitación y temperatura de esta red que fueron seleccionados para analizarse se muestran en la figura 2.

La selección de series de tiempo se realizó con base en la prueba de homogeneidad incluida en el software RHtest (WANG y FENG, 2007), los procesos de control de calidad facilitados por el software RClimDex, el mayor número de observaciones diarias disponibles y la disponibilidad de datos durante un periodo común para todas las estaciones (de 1963 a 2004). Estos criterios resultaron en la selección de 45 estaciones para precipitación y 26 estaciones para temperatura de un total de 379 que alguna vez han reportado mediciones en el área de estudio. La distribución espacial de las estaciones seleccionadas cubre la mayor parte del área de interés.

3. INDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO

Si bien no existe una definición unívoca de extremo climático, el uso de una base teórica común para definir los eventos extremos permite su estudio sistemático. En este sentido, el Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI por sus siglas en inglés) coordinado por la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial (CCI/OMM), el proyecto sobre Predecibilidad y Variabilidad Climática (CLIVAR), y la Comisión Técnica de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM), ha formulado un

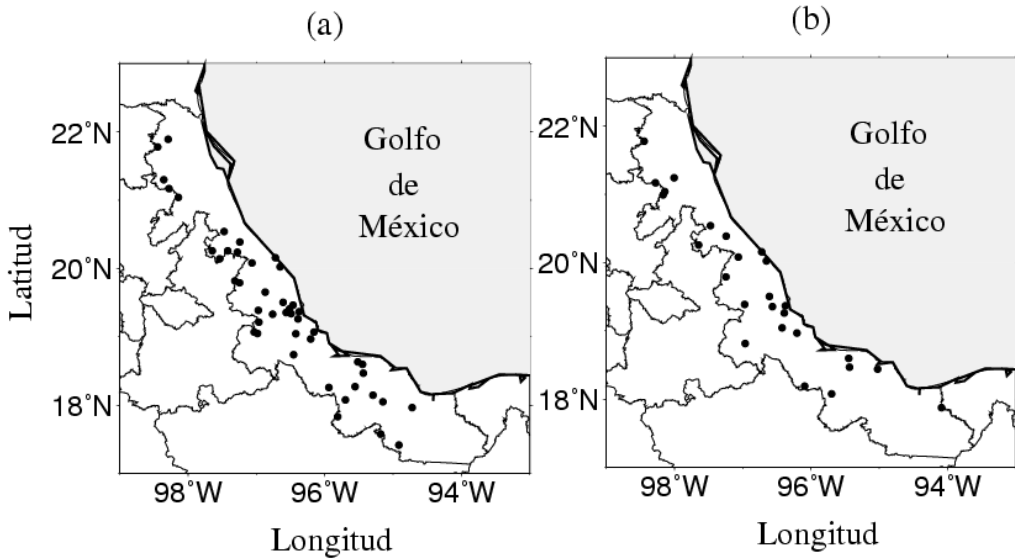


Fig. 2: Ubicación geográfica de las estaciones climatológicas convencionales cuyas observaciones se utilizaron en los análisis de (a) precipitación y (b) temperatura.

conjunto de 27 índices de cambio climático para detectar las modificaciones en el comportamiento de los extremos del clima. Las definiciones, el significado, los acrónimos usados y las unidades en las que se expresan los 27 índices han sido documentadas por ZHANG y YANG (2004). Este conjunto de índices tiene como propósito que la estimación de los cambios en los extremos sea realizada en torno a una metodología común con el fin de proveer una base comparativa global (KARL *et al.*, 1999; PETERSON, 2005).

Para el presente estudio, se seleccionaron y trataron algunos de los índices representativos del comportamiento anualizado de la temperatura mínima más baja (TNn), la temperatura mínima más alta (TNx), la frecuencia de días frescos (TX10p), la ocurrencia de días calurosos (TX90p), la precipitación total (PRCPTOT), la lluvia máxima en un día (Rx1day), la lluvia máxima en 5 días (Rx5day), el índice simple de intensidad de lluvia (SDII), el número de días muy húmedos (R95p) y el número de días extremadamente húmedos (R99p). Los análisis fueron realizados para el periodo 1963-2004 en el cual, todas las estaciones seleccionadas contaron con datos suficientes para el cálculo de los índices. El periodo base utilizado como referencia para el cálculo de anomalías y percentiles fue 1964-1993 -los treinta años más cercanos al periodo 1961-1990 ampliamente utilizado en otros estudios climatológicos-. Los índices fueron calculados para cada una de las estaciones individuales para luego crear a partir de ellos una serie regional bajo el supuesto de que la distribución de estaciones cubre razonablemente el área de estudio, por lo que no se realizó ponderación alguna en función del área para calcular la serie regional. En los análisis de lluvia, las series regionales fueron calculadas también como anomalías estandarizadas con el fin de discernir más fácilmente los cambios respecto al periodo base.

4. RESULTADOS

A continuación se exponen en primer lugar los resultados obtenidos tras el análisis de las series de temperatura, para en segundo término describir los resultados alcanzados en el caso de la precipitación y su comportamiento extremo. Las series temporales de los índices que se muestran en las figuras se hallan suavizadas por un filtro Gaussiano para destacar los cambios a largo plazo sin importar la magnitud de los extremos de un año en particular.

4.1. Temperatura

Al analizar las series regionales de temperatura mínima, se observa que las temperaturas mínimas extremas se han incrementado aproximadamente 1 °C desde principios de la década de 1990, mientras que los valores más altos de esta misma variable no han cambiado en forma relevante. Esto lleva a pensar que en general los inviernos de la última década han sido menos fríos en la región con excepción de 1997 (Fig. 3).

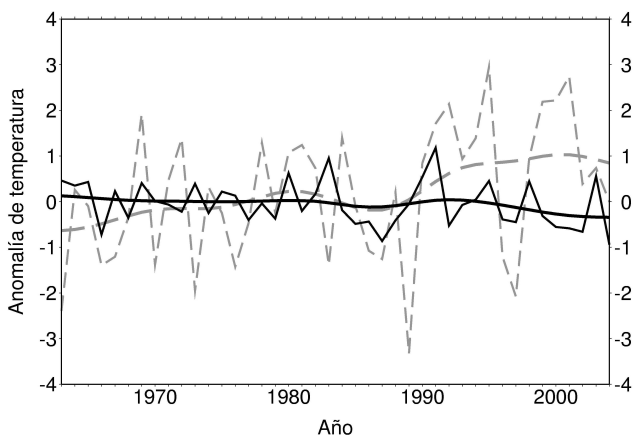


Fig. 3: Anomalías del valor más bajo (línea gris punteada) y del más alto (línea negra continua) de la temperatura mínima del año en el estado de Veracruz.

Al examinar el porcentaje de días en el que la temperatura máxima excede un umbral establecido (Fig. 4), se deduce que el porcentaje de días frescos en el año (días en los que la temperatura máxima es menor al percentil 10) ha disminuido a partir 1980, mientras que el porcentaje de días calurosos (días en los que la temperatura máxima es mayor al percentil 90) ha aumentado sustancialmente en los últimos 15 años. Los cambios en la frecuencia de días que exceden estos umbrales de temperatura máxima son mayormente evidentes a partir de 1990, destacando el más fuerte incremento de los días calurosos que la reducción de los días frescos (Tabla 1). Ello sugiere que la distribución entera de la temperatura máxima está cambiando a valores más altos. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por AGUILAR *et al.*, (2005) en su estudio para el conjunto de la región centroamericana y el norte de Sudamérica, tal como evidencia la Figura 8 de dicho análisis en la que se muestran las tendencias de los percentiles superiores e inferiores de las temperaturas extremas diarias del grupo de estaciones analizado, de las cuales un menor número que las utilizadas en el presente

estudio se localizan en el estado de Veracruz. El nivel de acuerdo entre ambos estudios tanto en el signo como significancia de las tendencias estimadas para las estaciones veracruzanas analizadas es alto.

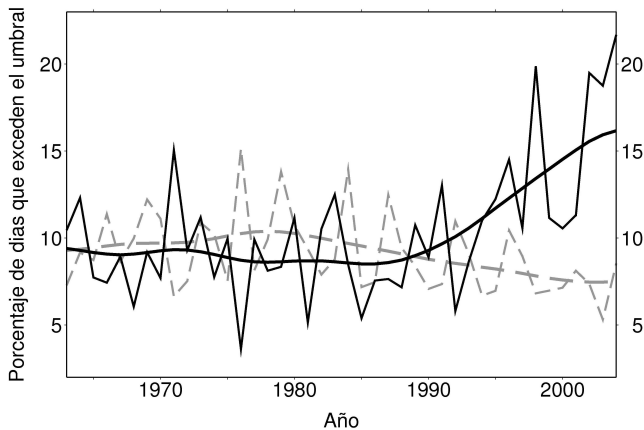


Fig. 4: Porcentaje de días por debajo del percentil 10 (líneas punteadas) o por arriba del percentil 90 líneas continuas de la temperatura máxima diaria en el estado de Veracruz.

Al examinar la distribución geográfica de las tendencias estimadas para el porcentaje de días calurosos (Fig. 5) se encuentra que la mayoría de estas tendencias son positivas y muchas de éstas significativas, por lo que el aumento de los días calurosos presenta un coherente patrón espacial en el estado de Veracruz. Unas cuantas tendencias resultaron negativas, aunque ninguna de ellas es significativa al nivel adoptado del 0.05, sin embargo, éstas llevan a pensar en la existencia de cambios diferenciados en los extremos debido a otros factores (posiblemente la orografía o la influencia local).

4.2. Precipitación

A diferencia del caso de la temperatura, en la precipitación de la región no se detectan cambios relevantes en ninguno de los índices analizados: precipitación anual, máxima en un día, máxima en cinco días, días muy húmedos y extremadamente húmedos e intensidad diaria de la precipitación (Figs. 6 y 7), tal y como se recoge también en la Tabla 1 en la que se proporcionan las tendencias decadales de las series regionales de los índices de clima extremo examinados.

Tras la inspección de ambas figuras (Figs. 6 y 7) y de la Tabla 1 se constata la ausencia de cambios significativos durante el periodo analizado, especialmente claro para el caso de los índices representativos de días muy lluviosos y de la intensidad diaria de la precipitación, mientras que el resto de indicadores (PRCPTOT, R99p, Rx1d y Rx5d) muestran un ligerísimo, pero no estadísticamente significativo, descenso de la precipitación anual y de los eventos de muy elevada intensidad.

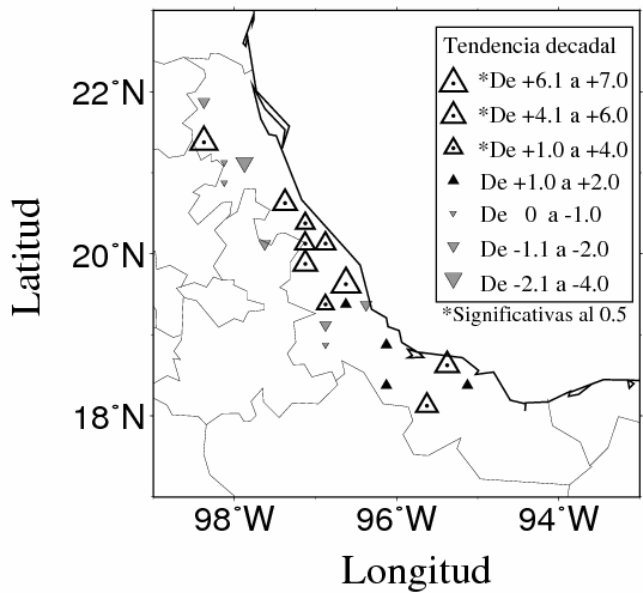


Fig.5: Tendencias decadales de días por encima del percentil 90 de la temperatura máxima (días calurosos). Las tendencias significativas al 5% se denotan por un punto en el centro.

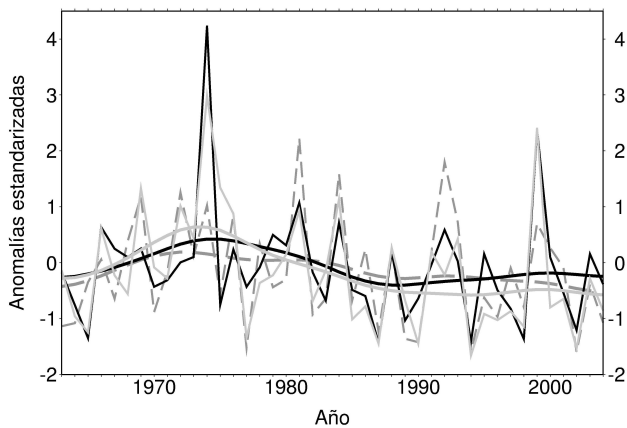


Fig. 6: Anomalías estandarizadas de precipitación anual (línea punteada), máxima en un día (línea continua negra) y máxima en cinco días (línea continua gris).

Estos resultados son coherentes con los obtenidos por GROISMAN *et al.*, (2005) sobre la vecina región central de México para un periodo similar. Asimismo, los presentes resultados concuerdan con los obtenidos por AGUILAR *et al.*, (2005).

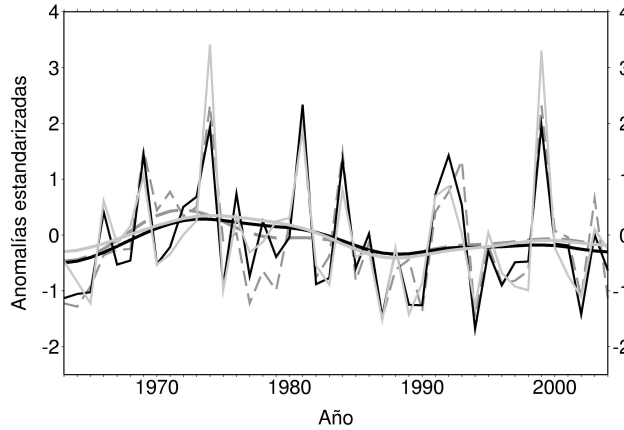


Fig. 7: Anomalías estandarizadas del índice simple de intensidad de lluvia (línea punteada), y los días que exceden el percentil 95 (línea continua negra) y el percentil 99 (línea continua gris) de la lluvia diaria.

Tal como se muestra en la figura 10 de este último estudio, los mismos índices pluviométricos muestran para un menor grupo de estaciones localizadas en el estado veracruzano similares tendencias negativas, las cuales en su mayoría no alcanzan tampoco significancia estadística.

Índice	Tendencia decadal
TNn	0.2
TNx	0
TNn	0.3*
TXx	0.2
Tx10p	-0.6*
Tx90p	1.6*
PRCPTOT	-0.1
R95p	0
R99p	-0.1
Rx1d	-0.1
Rx5d	-0.2
SDII	0

Tabla 1: TENDENCIAS DECADEALES DE LAS SERIES REGIONALES. LAS TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS AL 0.05 SE DENOTAN CON *.

5. CONCLUSIONES

Mediante el uso de índices de cambio climático ha sido posible detectar una señal de cambio en los extremos climáticos del estado de Veracruz. Esta señal es más clara en el caso de la

temperatura, donde los análisis revelan que durante la última década la temperatura mínima extrema se ha incrementado, la frecuencia de días calurosos ha aumentado y ha habido una disminución en la frecuencia de días frescos. En el caso de la precipitación, no ha sido posible identificar cambios significativos en la región. Sin embargo, por la corta longitud de las series instrumentales analizadas, es necesario investigar el papel que pueden jugar las oscilaciones de baja frecuencia en la modulación de los extremos climáticos. No obstante lo anterior, el aumento de temperatura detectado es consistente con los cambios reportados recientemente en el registro global de temperatura.

Dado que es imposible pronosticar exactamente cuándo y cómo el cambio climático antropogénico se manifestará en cada región del planeta es evidente la necesidad de fortalecer o implementar sistemas de monitoreo regional de eventos extremos así como desarrollar estudios de atribución de extremos del clima. Lo anterior hará necesario utilizar y mejorar el conocimiento actual de la climatología física de cada región particular, desarrollando indicadores de extremos climáticos ad hoc, que además de incorporar los datos instrumentales incluyan información relativa a eventos de tiempo severo, tormentas tropicales, etc.

Ante la certeza de un calentamiento del sistema climático y la incertidumbre asociada a los detalles de su ocurrencia y mitigación, surge el denominado “imperativo de la adaptación” (ZHANG *et al.*, 2008) concepto que alude a la necesidad de adaptarse a los cambios en el clima que inevitablemente ocurrirán durante los siguientes años a causa del tiempo de permanencia en la atmósfera de los gases de invernadero ya emitidos.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo e ideas recibidos de Tom Peterson para la elaboración de diversas gráficas, de Mike Salmon para el cálculo de filtros gaussianos y de Luisarturo Castellanos para la estimación de tendencias. Los datos diarios de lluvia y temperatura fueron facilitados por el Servicio Meteorológico de la Comisión Nacional del Agua. El financiamiento fue otorgado por el programa de becas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) complementado por el de la Secretaría de Educación Pública (SEP).

7. REFERENCIAS

- AGUILAR, E.; AUER, I.; BRUNET, M.; PETERSON, T.C. y WIERINGA, J. (2003). *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization*, WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. Geneva, 55 pp.
- AGUILAR, E.; PETERSON, T.C.; BRUNET, M.; VAZQUEZ, J.L. et al, (2005), *Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003*, J. Geophys. Res., 110, D23107, doi:10.1029/2005JD006119.
- ALEXANDER, L.V.; ZHANG, X.; PETERSON, T.C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A.M.G.; HAYLOCK, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J.L. et al. (2006). *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation*. Journal of Geophysical Research, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290
- IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the

- Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>
- GROISMAN, P. Ya; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D.R.; KARL, T.R.; HEGERLS, G.C.; RAZUVAEV, V.N. (2005). *Trends in Intense Precipitation in the Climate Record*, Journal of Climate, 18: 1326-1350.
- KARL, T.R.; NICHOLLS, N; GHAZI, A. (1999): *CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary*. Climatic Change, 42, 3-7.
- MAGAÑA, V.O.; VÁZQUEZ, J.L.; PÉREZ, J.L.; PÉREZ J.B. (2003). *Impact of El Niño on Precipitation in México*. Geof. Int. 42, 3:313-330.
- PETERSON, T.C. (2005): Climate Change Indices. WMO Bulletin, 54 (2), 83-86.
- PETERSON, T.C.; ZHANG, X.; BRUNET, M.; VÁZQUEZ-AGUIRRE, J.L. (2008) *Changes in North American extremes derived from daily weather data* J. Geophysical Research, doi:10.1029/2007JD009453, in press.
- VAZQUEZ-AGUIRRE, J.L. (2000). *Caracterización objetiva de los nortes del Golfo de México y su variabilidad interanual*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Atmosféricas. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. México.
- WANG, X. L.; FENG, Y. (2007). *RhTestV2. User Manual*, disponible on-line en: <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml>
- WMO (2003). World Meteorological Organization Press Release No. 695. July 2. Geneva, CH.
- ZHANG, X.; ZWIERS, F.W.; PETERSON, T.C. (2008). *The adaptation imperative: is climate science ready?* WMO Bulletin 57(2) April.
- ZHANG, X. y F. YANG (2004). RCLimdex (1.0) User Manual. Consultado en Internet en Marzo de 2008 en <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/>